●初段に黒田式 Cas Comp 回路を採用した

6EZ5 カソフォロ出力アンプの製作

塩田春樹

首尾は上々

昔から，カソード・フォロワ・アンプは音がよいといわれています．多分，その出力インピーダンスの小ささによる大きなダンピング・ファクタ＝DFが音に寄与するところ大だからでしょう．

しかし，いざ作ってみようとなると，なかなかたいへんです．まず，参考にする作例が非常に少ない．見付かったとしても，3極管か5極管の3極管接続で，出力が小さく不満．そして何よりも，電圧増幅段が多段で，複雑かつ大袈裟です（この理由は後述します）．これでは，やる気が失せて当然です．

そこで，初段に本誌レギュラー・ライター黒田徹氏が考案された「理想の初段」CasComp 応用回路を使って電圧増幅を1段で賄い，出力段にはちょっとした工夫をすることで，安価な垂直偏向管6EZ5を5極管のままカソード・フォロワとして使い，必要にして十分なDFと出力が得られるアンプを試作してみました．

結果は「まことに結構」なものとなりましたので，ご紹介します．非常に押出しの強い存在感のある音は秀逸でもあります．シンプルで作りやすい，このカソフォロ・アンプをぜひ追試してください．

回路のあらまし

本アンプの全回路を**第1図**に示します．初段は前述のとおり，本誌2011年11月号の変則UL接続6GB3Aアンプでも使ったCas-Compです．

CasCompの詳細は同号を参照いただくとして，初段で差動増幅と位相反転を行います．位相反転後の2つの出力は事実上まったく同一ですので，ACバランス回路は不要です．そして何よりも超低ひずみでかつ超広帯域なのが，CasCompの特徴です．ただ，カソード・フォロワの出力段は大きな振幅のドライブ電圧を要求します（理由は後述）ので，プレートには高電圧が不可欠です．

出力段は固定バイアス方式ですが，前口上ほどにはシンプルではありません．しかし，出力管1本当たり安価なチョーク・コイルと電解コンデンサをそれぞれ1個追加するだけで大きな出力が得られるのですから，この程度は我慢すべきでしょう．

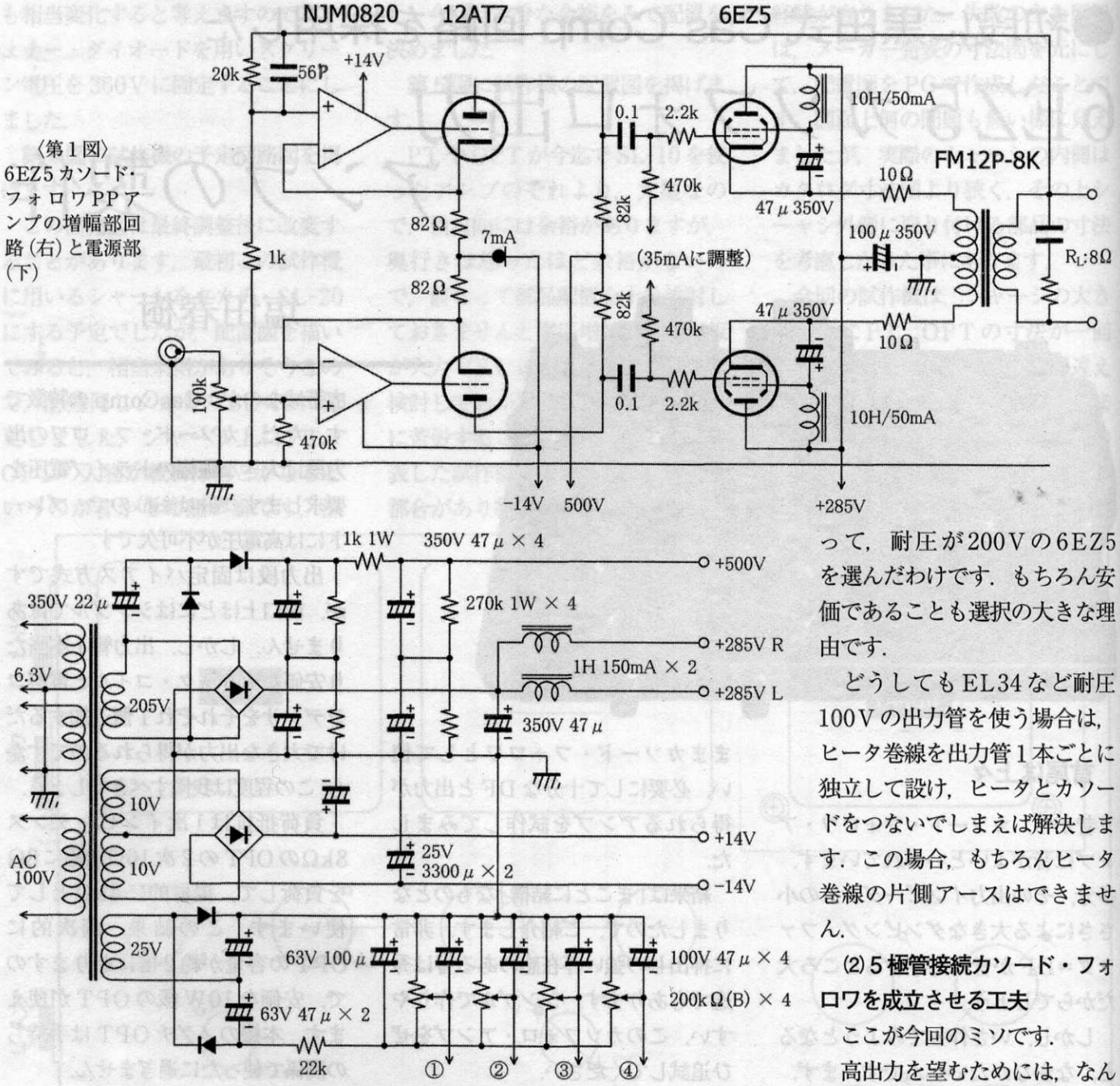
負荷抵抗は1次インピーダンス8kΩのOPTの2次16Ω巻線に8Ωを負荷して，擬似的に4kΩとして使います．この結果，副次的にOPTの容量が約2倍になりますので，安価な10W級のOPTが使えます．本機のノグチOPTは手持ちの関係で使ったに過ぎません．

電源回路は，それ自体は何の変哲もないものですが，電源トランスは特注（仕様は後述），チョーク・コイルはすべてノグチの標準品です．なお，狙いの出力はひずみ率1%時12W程度，DFは15程度です．

出力段の動作設定

通常なら初段からの説明となりますが，出力段が初段の動作条件設定に影響が大きいカソフォロであるため，出力段から説明します．

(1)垂直偏向管6EZ5の選択



〈第1図〉
6EZ5カソード・フォロワPPアンプの増幅部回路(右)と電源部(下)

カソード・フォロワは文字どおりカソードから出力を取り出します．したがって，カソードには大きな信号（交流電圧）が流れます．たとえば15W出力の場合なら，1次インピーダンスが8kΩのOPTの場合，1次巻線には，

$\sqrt{(8000\,\Omega / 4 \times 15\,\mathrm{W})}$
$= 173.2\,\mathrm{Vpeak} = 122.5\,\mathrm{Vrms}$

の電圧が発生します．

一方，どんな真空管も，その構造上の問題からカソードとヒータ間の耐圧を規定しており，多くは100Vです．これでは，このカソフォロの122.5Vには耐えられません．少なくともh-k耐圧125V以上の出力管が必要になります．

本機の場合は，後述の電気特性から見られるように，ひずみ率を無視すれば最大出力は20Wですから，OPTのインピーダンスが4kΩとはいえ，141.4Vpeak＝100 V rmsが発生しています．ギリギリながら耐圧100Vには収まりましたが，それは結果であって，構想段階では仕様もキチンと決まっていないこともあって，耐圧が200Vの6EZ5を選んだわけです．もちろん安価であることも選択の大きな理由です．

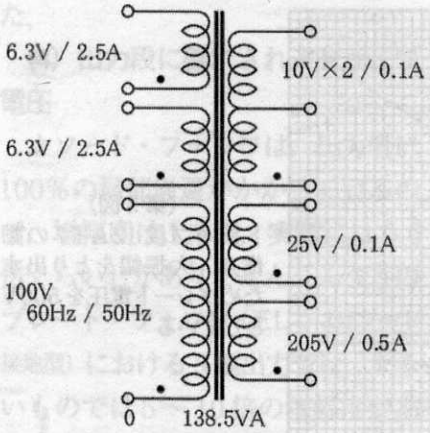
どうしてもEL34など耐圧100Vの出力管を使う場合は，ヒータ巻線を出力管1本ごとに独立して設け，ヒータとカソードをつないでしまえば解決します．この場合，もちろんヒータ巻線の片側アースはできません．

⑵ 5極管接続カソード・フォロワを成立させる工夫

ここが今回のミソです．

高出力を望むためには，なんとか5極管接続のままでカソフォロを成立させる必要があります．5極管であることの条件は，スクリーン・グリッドにプレートと同電位（または，所望の高電位）の直流が，また，カソードと同電位の交流が印加されていることです．そこで，プレートとスクリーン・グリッド間はチョーク・コイルを介して直流的に接続し，カソードとスクリーン・グリッド間はコンデンサを介して交流的に接続することで，これを実現します．

チョークの許容電流値は20mA



〈第4図〉パワー・トランスの仕様

ッド電圧0V曲線との交点を見ますと，65Vと5.5mAですから，得られる出力電圧は65V～390Vと，325Vの振幅となって，必要とされる236Vを十二分にクリアします．

なお，初段のオペアンプはJ-FET入力のものならなんでも構いませんが，072や082は1個100円程度と廉価で，CasCompに過不足を生じません．

NFB量は最小限に

NFB量は少なければ少ないほどよい(音がよい)というのは風評の類いではないでしょうか．OPTの素性がよければ，大量のNFBでも音質が阻害されることはないでしょう．NFB後のF特を整えるための補正処理，特に，積分補正が音質の阻害要因だと考えます．

かといって，それなりの素地（回路設計，実装技術，測定環境など）が整っていないと，多量のNFBでは発振などのトラブルで手を焼くことになりますから，納得できる音質と性能が得られるなら，NFBは最小限に止めるに越したことはありません．

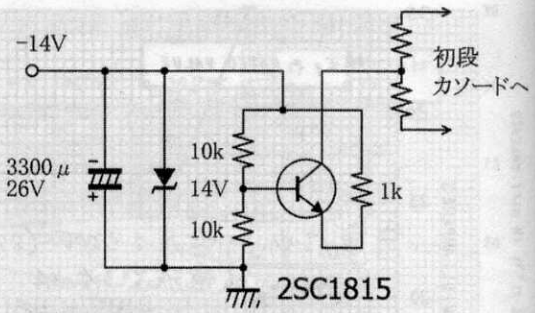
本機はNFB量は約12dBです．筆者は通常，入力1Vで最大定格出力になるようゲインを決めます．本機の場合は，最大定格出力が12W=9.8V@8Ωですから，ゲインは10倍弱にすべきですが，聴感を優先してNFB量を決めた結果，ゲインは8倍強(18dB)と，やや低くなってしまいました．もうすこし，初段のカソード抵抗を小さくすれば簡単にゲインは増えますが，実用上問題はないので，ズルを決め込んで，そのままです．

電源回路

特に変わったところは皆無です．追試されるかたのために，PTの仕様を**第4図**に掲げておきます．

(1)オペアンプ用電源

初段は，大きな振幅を得るために駆動電圧を大きく設定します．このオペアンプの駆動最大電圧が±18Vであることから，その電圧を超えないように若干の余裕を持たせ，±14Vとしました．



〈第5図〉電源部のCRDをこの回路に置き換えることもできる

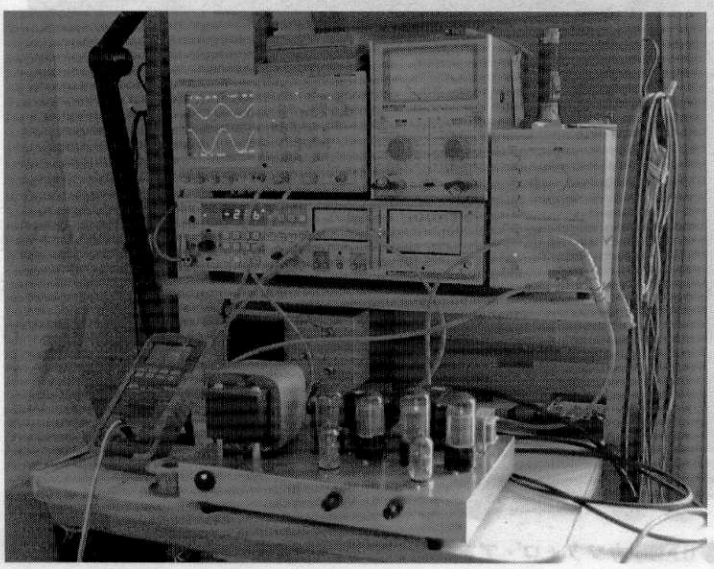
また，この回路の平滑コンデンサは前述のとおりノイズ防止の面から大容量が要求されます．本機では3300μFでノイズ問題は起きませんでしたが，4700μ以上の方が安心です．いずれにしろノイズが出なければよいので，このあたりはトライ&エラーの世界です．

(2)定電流回路

今回は7mAと比較的大きな電流値にもかかわらず，CRDで特に異常な動作（NFBをかけると無帰還時よりもひずみ率が悪化するという珍現象など）を認めませんでしたので，CRDのままとしています．理解できないような現象が起きるようであれば，CRDを**第5図**の定電流回路に置き換えれば解決します．

製作上の留意点と調整

特に問題となる点はありませんが，オペアンプは初段管の近傍に置くこと，回路図上は電源部にあるバイアス調整回路も出力管の近傍に実装すること，そして，なによりも信号の流れをつねに頭に置いて，左右チャネルはもとより，初段，出力管のアース・ポイントを交錯させず，それぞれを一まとめにして，入力端子に近いところでグラウンドに落とすことです．これは残留雑音，クロ



●測定中の本機．

とやや計画を下回りましたが，最大出力はひずみ率が10%を超えることを無理矢理容認すれば，なんとか計画の20Wとなります．全体として破綻のない動作をしていることがわかります．

(3) DF／ダンピング・ファクタ

ON・OFF法で16.2とたいへん大きな値となりました．これこそカソフォロのご利益です．十分にダンピングの効いた音が期待されます．

(4) クロストーク(第10図)

クロストークは，可聴帯域外であっても，再生音場の定位はもちろん，空気感にも影響が大きいと見ています．少なければ少ないほどよし，ですが，上を見ればキリがないものの，十分以上のデータを示しています．L→Rのデータが低域で悪化していますが，これは電源からの回り込みと考えられます．しかし，絶対値が極めて優秀なので，特に対策はしません．

(5) 10kHz方形波特性

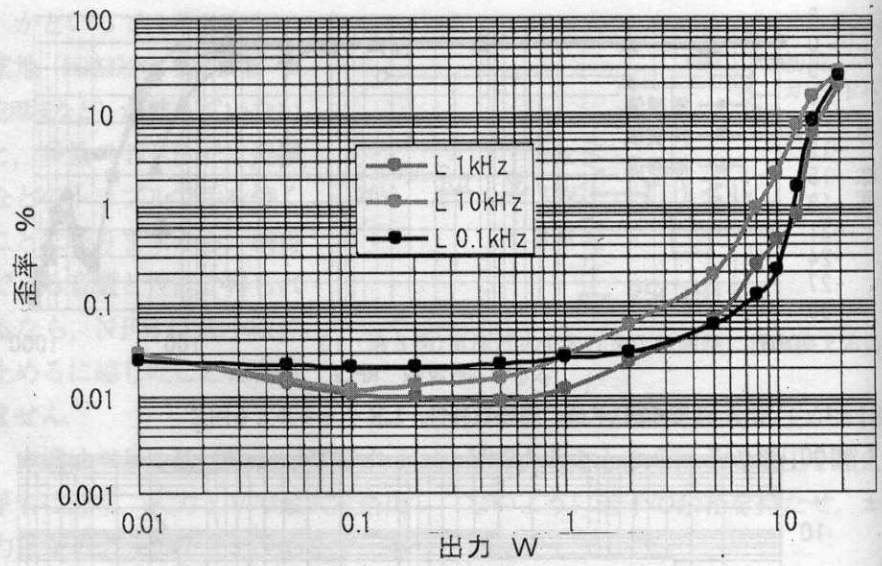
前掲の**写真A**を参照ください(下側が入力波形，上側が出力波形)．50～100pFのコンデンサをNF抵抗にパラに入れています．これ以上大きなコンデンサを入れると音が鈍くなって来ることもあって，この程度のオーバシュートやリンギングは実害がなしと判断しました．

(6) 残留雑音

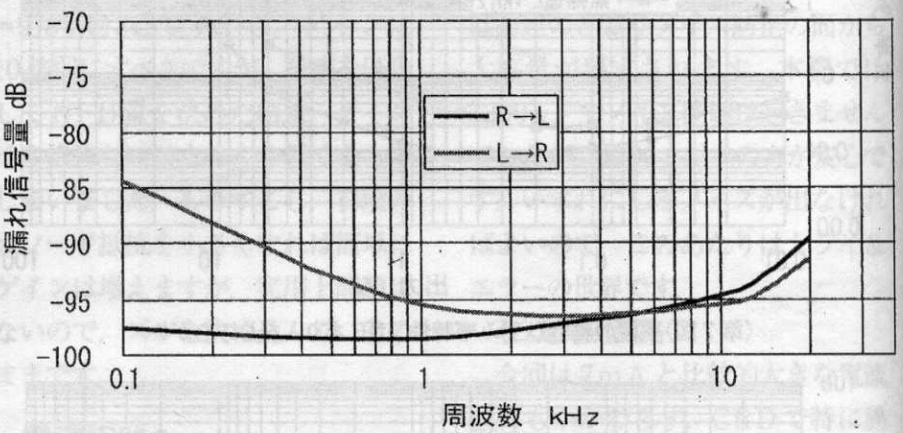
入力ショートで右0.07mV，左0.08mVと非常に低いデータが得られました．能率93dBのスピーカでもまったく雑音は聴き取れません．

いろいろな球が使えます

極めて押出しの強い音です．躍動感も尋常ではありません．聴きようによっては荒いと感じないでもありませんが，一言でいえば，存在感のある音というところでしょうか．ただ，音質評価については客観性に乏しいため，試作してみる以外に確認の方法はないのでしょうが，私にはすばらしいと思える音が出てきましたので，カソフォロ・アンプの優秀性を実感しています．



〈第9図〉100,1k,10kHz入力の雑音ひずみ率特性



〈第10図〉クロストーク特性．低域での悪化は電源からの回りこみ(?)

以上述べてきましたように，工夫すれば5極管接続でのカソフォロ・アンプが，理論的にも実機としても成立することが検証されましたので，所期の目的は達成できたと考えます．小出力の，3極管または3極管接続の5極管でのカソフォロ・アンプで我慢しておられたファンもおられることと思いますが，ちょっと改造して出力増大によるスケールの大きなカソフォロ・アンプの音を堪能されてはいかがでしょう．

なお，今回使用した6EZ5は米国の通販で5ドル強と格安でしたので採用しましたが，一般的にはあまり馴染みのあるものではありません．追試に当たってはGT管なら6V6や6L6GC，MT管であれば，6BQ5に変更すれば，出力は本機より低下するものの，この回路図とおりでもカソフォロの音が得られることでしょう．

ちなみに，手持ちの6L6GCに差し替えてみた結果(もちろんアイドリング電流を35mAに調整)，ひずみ率1%時では11W，5%時では14Wの出力が得られました．6L6はもっと高い電圧をかけて出力を稼ぐのが本来の使いかたですから，今回のようにB電圧が300V未満の場合は，こんなものでしょう．